



03599.000077

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
Hiroshi MOROHOSHI) : Examiner: Unassigned
Application No.: 10/660,681) : Group Art Unit: Unassigned
Filed: September 12, 2003) :
For: EXPOSURE METHOD AND APPARATUS) October 30, 2003

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

In support of Applicant's claim for priority under 35 U.S.C. § 119, enclosed is one certified copy of the following foreign application:

JAPAN 2002-270751, filed September 17, 2002.

Applicant's undersigned attorney may be reached in our Washington, D.C., office by telephone at (202) 530-1010. All correspondence should continue to be directed to our address given below.

Respectfully submitted,

Attorney for Applicant
Steven E. Warner
Registration No. 33,326

FITZPATRICK, CELLA, HARPER & SCINTO
30 Rockefeller Plaza
New York, New York 10112-3801
Facsimile: (212) 218-2200
SEW/eab

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 9 月 1 7 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 7 0 7 5 1
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 2 7 0 7 5 1]

出 願 人 キヤノン株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫

【書類名】 特許願

【整理番号】 4592014

【提出日】 平成14年 9月17日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 露光方法及び装置

【請求項の数】 8

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 諸星 洋

【特許出願人】

 【識別番号】 000001007

 【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100110412

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 藤元 亮輔

 【電話番号】 03-3523-1227

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 062488

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 0010562

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 マスクに形成された所望のパターンを投影光学系を介して被処理体に投影する露光方法であって、

前記マスクを照明する有効光源の領域が複数に分割された点光源において、前記投影光学系の波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した場合の Z e r n i k e 係数の変化に対する前記所望のパターンの像質の変化の敏感度を表す Z e r n i k e 敏感度係数を求めるステップと、

前記 Z e r n i k e 敏感度係数に基づいて、前記点光源の強度によって有効光源分布を決定するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 2】 前記 Z e r n i k e 敏感度係数を求めるステップは、全ての複数の前記点光源と前記 Z e r n i k e 係数との組み合わせについて行われることを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。

【請求項 3】 前記有効光源決定ステップは、前記所望のパターンの像質が劣化しないように、前記点光源の強度を変えた組み合わせから前記有効光源を決定することを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。

【請求項 4】 前記波面収差は、前記投影光学系の残収差を含むことを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。

【請求項 5】 マスクに形成された所望のパターンを投影光学系を介して被処理体に投影する露光装置であって、

前記マスクを照明する有効光源の分布形状を可変とする照明光学系と、

前記投影光学系の波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した場合の Z e r n i k e 係数の変化に対する前記所望のパターンの像質の変化の敏感度を表す Z e r n i k e 敏感度係数に基づいて、前記有効光源の分布形状を制御する制御部とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 6】 マスクに形成された所望のパターンを投影光学系を介して被処理体に投影する露光方法に適した有効光源の設定に使用されるデータベースであって、

前記投影光学系の波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した場合の Z e r n i k e 係数の変化に対する前記所望のパターンの像質の変化の敏感度を表す Z e r n i k e 敏感度係数を表示することを特徴とするデータベース。

【請求項 7】 請求項 1 乃至 4 の方法を実行するためのプログラム。

【請求項 8】 請求項 5 記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光した前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般には、露光に係り、特に、I C、L S I などの半導体チップ、液晶パネルなどの表示素子、薄膜磁気ヘッドなどの検出素子、C C D などの撮像素子といった各種デバイスを製造するのに使用される露光方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子又は液晶表示素子を製造する際に、レチクル又はマスク（本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する。）に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する縮小投影露光装置が従来から使用されている。

【0003】

近年では、電子機器の小型化及び薄型化の要請から、電子機器に搭載される半導体素子の微細化への要求はますます高くなっている。縮小投影露光装置で転写できる最小の寸法（解像度）は、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系の開口数（N A）に反比例する。従って、波長を短くすればするほど、及び、N A を上げれば上げるほど、解像度はよくなるため、露光光の短波長化及び投影光学系の高 N A 化が図られている。

【0004】

一方、回路パターンの微細化に伴い、投影光学系の投影像の像質に対する要求も厳しくなっている。例えば、130nmノードの半導体素子においては、投影像で回路パターンの線幅ばらつき10nm以下が要求されている。かかる投影像の像質に対する要求に応えるために、投影光学系の残収差をできる限り小さくすることが必要であり、投影光学系の設計値及び設計手法の最適化、投影光学系の製造工程の高精度化、残収差調整手法及び機構の開発などが行われている。しかし、露光光の短波長化及び投影光学系の高NA化に伴い、残収差を小さくすることが困難となってきた。

【0005】

そこで、投影光学系の残収差による投影像の像質劣化が許容できない場合は、かかる像質劣化が半導体素子の製造に影響をおよぼさないように、露光装置に収差補正機構を搭載することや投影光学系の開口数及び／又は照明光学系の開口数（半導体素子の露光装置では、投影光学系の開口数との比、 σ ＝照明光学系の開口数／投影光学系の開口数を使って表現されることが多い。）に微小なオフセットを加えて像質の劣化を抑えることが行われている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、露光装置に搭載されている収差補正機構では、投影光学系の残収差のうち、低次の波面収差のみしか補正することができない。このことについて詳細に説明する。波動光学において投影光学系の収差量は、瞳面上各点での光波の位相のばらつきで表される。換言すれば、波面（光波の位相が同一の面）の歪み（波面収差）として表すことができる。一般に投影光学系の瞳面は円形をしているので、波面収差は瞳面上の極座標（ r 、 θ ）に対して以下の数式1及び数式2で示すZernike多項式で表される。なお、半導体素子の露光装置では、Zernike係数 C_i を用いて投影光学系の収差量を表すことが一般的となっている。

【0007】

【数 1】

$$\sum C_i \times R_n^m(r) \times \{\cos m\theta + \sin m\theta\}$$

【0008】

【数 2】

$$R_n^m = \sum_{k=0}^{(n-m)/2} (-1)^k \frac{(n-k)! r^{n-2k}}{k! \left(\frac{n+m}{2} - k\right)! \left(\frac{n-m}{2} - k\right)!}$$

【0009】

整数 n 及び m の値が小さい、即ち、 r に関する関数の次数が低い Z e r n i k e 係数で表される収差を低次収差と呼称しており、投影光学系のレンズ間隔や露光光の波長を微小に変化させて収差補正を行う従来の収差補正機構では低次の収差補正しか行えず、高次の収差は残収差となってしまう。

【0010】

また、投影光学系の開口数及び／又は照明光学系の開口数に微小なオフセットを加えて像質劣化を抑える方法では、変更可能なパラメータが開口数だけであるため、全ての半導体素子の回路パターンに要求される像質劣化を抑えることができない。

【0011】

一方、投影像の残収差による寸法変動や形状変化を想定して、マスク上の回路パターンの寸法にオフセットを加えたり、補助パターンを付加したりして形状変化を抑える方法も考えられる。しかし、投影光学系の残収差と回路パターンの形状変化に合わせて露光毎に最適な寸法オフセットや補助パターン形状を決定しなければならず、マスク設計の大きな負荷となる。また、寸法オフセットや補助パターンを加えることによってマスク製造のコストを増大させる要因ともなる。

【0012】

更に、露光装置間で残収差が異なるため、多大な時間とコストをかけて製造したマスクであっても、回路パターンの像質への要求が最も厳しい工程では、固定した装置でしか像質劣化を許容範囲に抑えることができない。従って、露光装置の運用が非効率なものとなり、半導体素子の生産能力（スループット）を落とす原因となる。

【0013】

そこで、本発明は、投影光学系の残収差による像質劣化を抑え、所望のパターンを形成することができる解像度に優れた露光方法及び装置を提供することを例示的目的とする。

【0014】**【課題を解決するための手段】**

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光方法は、マスクに形成された所望のパターンを投影光学系を介して被処理体に投影する露光方法であって、前記マスクを照明する有効光源の領域が複数に分割された点光源において、前記投影光学系の波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した場合の Z e r n i k e 係数の変化に対する前記所望のパターンの像質の変化の敏感度を表す Z e r n i k e 敏感度係数を求めるステップと、前記 Z e r n i k e 敏感度係数に基づいて、前記点光源の強度によって有効光源分布を決定するステップとを有することを特徴とする。かかる露光方法によれば、投影光学系の波面収差に応じて、任意の有効光源分布を決定することができるので、波面収差による像質の劣化を防止することができる。前記 Z e r n i k e 敏感度係数を求めるステップは、全ての複数の前記点光源と前記 Z e r n i k e 係数との組み合わせについて行われることを特徴とする。前記有効光源決定ステップは、前記所望のパターンの像質が劣化しないように、前記点光源の強度を変えた組み合わせから前記有効光源を決定することを特徴とする。前記波面収差は、前記投影光学系の残収差を含むことを特徴とする。上述の露光方法を実行するプログラムも本発明の別の側面を構成する。

【0015】

本発明の別の側面としての露光装置は、マスクに形成された所望のパターンを投影光学系を介して被処理体に投影する露光装置であって、前記マスクを照明する有効光源の分布形状を可変とする照明光学系と、前記投影光学系の波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した場合の Z e r n i k e 係数の変化に対する前記所望のパターンの像質の変化の敏感度を表す Z e r n i k e 敏感度係数に基づいて、前記有効光源の分布形状を制御する制御部とを有することを特徴とする。かかる露光装置によれば、上述の露光方法の作用と同様の作用を奏する。

【0016】

本発明の更に別の側面としてのデータベースは、マスクに形成された所望のパターンを投影光学系を介して被処理体に投影する露光方法に適した有効光源の設定に使用されるデータベースであって、前記投影光学系の波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した場合の Z e r n i k e 係数の変化に対する前記所望のパターンの像質の変化の敏感度を表す Z e r n i k e 敏感度係数を表示することを特徴とする。

【0017】

本発明の更に別の側面としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、露光した前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有することを特徴とする。上述の露光装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、例えば、L S I や V L S I などの半導体チップ、C C D、L C D、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0018】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して、本発明の露光方法及び露光装置について説明する。なお、各図において同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0020】

図1は、本発明の例示的一態様である露光方法1000を説明するためのフローチャートである。露光方法1000は、マスクに形成された所望のパターンを投影光学系を介して被処理体に投影する露光方法である。

【0021】

図1を参照するに、まず、マスクを照明する有効光源の領域を点光源に分割する（ステップ1002）。例えば、有効光源の領域を格子上に分割し、分割した各点光源を行番号*i*と列番号*j*を添え字にして表すものとする。即ち、行番号*i*、列番号*j*に位置する点光源を P_{ij} と表すものとする。従って、各点光源 P_{ij} の強度を b_{ij} とすれば、有効光源の領域内の任意の有効光源分布 IL を以下の数式3で表すことができる。

【0022】

【数3】

$$IL = \sum b_{ij} \times P_{ij}$$

但し、点光源 P_{ij} の強度 b_{ij} は、 $0 \leq b_{ij} \leq 1$ である。

【0023】

次に、マスクに形成された所望のパターンの形状と、かかる所望のパターンにおいて改善したい像質とを入力情報として、各点光源 P_{ij} についてZernike係数 C_k に対するZernike敏感度係数を光学シミュレーションを用いて求める（ステップ1004）。ここで、Zernike敏感度係数とは、Zernike係数 C_k の変化に対する所望のパターンの像質の変化の敏感度を表す係数であって、像質の変化を x 、点光源 P_{ij} のZernike係数 C_k に対するZernike敏感度係数を a_{ijk} とすれば、以下の数式4で表すことができる。

【0024】

【数 4】

$$x = a_{ijk} (P_{ij}) \times f(C_k)$$

【0025】

そして、全ての点光源 P_{ij} について Zernike 敏感度係数 a_{ijk} を求めたか判断し（ステップ1006）、求めていなければ、ステップ1004を繰り返して全ての点光源 P_{ij} について Zernike 敏感度係数 a_{ijk} を求める。

【0026】

また、全ての Zernike 係数 C_k について Zernike 敏感度係数 a_{ijk} を求めたか判断し（ステップ1008）、求めていなければ、ステップ1004を繰り返して全ての Zernike 係数 C_k について Zernike 敏感度係数 a_{ijk} を求める。ステップ1004乃至ステップ1008によって、全ての点光源 P_{ij} と全ての Zernike 係数 C_k との組み合わせについて Zernike 敏感度係数 a_{ijk} が求まる。

【0027】

続いて、像質改善を行いたい投影光学系の波面収差情報を Zernike 係数の形で入力し、ステップ1004乃至ステップ1008で求めた Zernike 敏感度係数 a_{ijk} を用いて、任意の有効光源分布に対して投影光学系における所望のパターンの像質を計算する。ここで、任意の有効光源分布は、上述したように、各点光源 P_{ij} の強度 b_{ij} を用いて数式3で表すことができるので、任意の有効光源分布と波面収差 C_k' をもつ投影光学系との組み合わせで得られる所望のパターンの像質 x' は、以下の数式5で表すことができる。

【0028】

【数5】

$$x' = \sum a_{ijk} (P_{ij}) \times b_{ij} \times f(C_k')$$

【0029】

即ち、Zernike 敏感度係数 a_{ijk} を用いることによって、任意の有効光源分布に対する像質を簡易に計算することが可能となる。

【0030】

このように、数式5で計算される任意の有効光源分布による像質 x' の中から、所望のパターンに所望される像質に最も近いものを選択することができる。即ち、像質 x' を所望の像質に最も近づけるための最適な有効光源 P_{ij} の強度 b_{ij}' の組み合わせを求めることができる（ステップ1010）。

【0031】

この際、波面収差 C_k' をもつ投影光学系において、所望のパターンの像質を所望の像質にする最適な有効光源分布 ILo は、以下に示す数式6で決定される（ステップ1012）。

【0032】

【数6】

$$ILo = \sum b_{ij}' \times P_{ij}$$

【0033】

そして、最適な有効光源分布 ILo を用いてマスクを照明し、マスク上に形成された所望のパターンを被処理体に露光する。なお、ステップ1012で求めた Zernike 敏感度係数を全ての有効な光源位置に対しデータベース化し、保

存することもできる。

【0034】

本発明の露光方法1000は、所望のパターンがどのような形状であっても、また、投影光学系の波面収差、例えば、残収差がどのような量であっても、必要とする投影像質の改善を行うことができる最適有効光源分布を簡便に決定することができる。

【0035】

従って、かかる最適有効光源分布を任意の有効光源形状分布を形成可能な照明光学系によって形成し、マスク上の所望のパターンを照明することで、投影光学系によって被処理体上へ投影される投影像の残収差による像質劣化を抑え、解像度に優れた露光を行うことができる。

【0036】

また、投影光学系の波面収差による投影像質の劣化の防止が、照明光学系の形成する任意の有効光源分布によって可能となるため、マスク上の所望のパターンに寸法オフセットや補助パターンを付加する必要がなく、マスク設計の負荷やマスクコストを低減することができる。

【0037】

以下に、図2乃至図13を参照して、本発明の露光方法1000による最適有効光源分布決定を半導体製造用の露光装置1で行った具体的な実施形態について説明する。図2は、本発明の一側面としての露光装置1の例示的一形態を示す概略構成図である。露光装置1は、図2に示すように、所望のパターン210が形成されたマスク200を照明する照明装置100と、照明された所望のパターン210から生じる回折光をプレート400に投影する投影光学系300と、プレート400を支持するステージ450と、オートフォーカス系500と、制御部600とを有する。

【0038】

露光装置1は、例えば、ステップ・アンド・スキャン方式やステップ・アンド・リピート方式でマスク200に形成された所望のパターン210をプレート400に露光する投影露光装置である。かかる露光装置は、サブミクロンやクオー

ターミクロン以下のリソグラフィ工程に好適であり、以下、本実施形態ではステップ・アンド・スキャン方式（「スキャナー」とも呼ばれる。）を例に説明する。ここで、「ステップ・アンド・スキャン方式」は、マスクに対してウェハを連続的にスキャン（走査）してマスクパターンをウェハに露光すると共に、1ショットの露光終了後ウェハをステップ移動して、次の露光領域に移動する露光方法である。「ステップ・アンド・リピート方式」は、ウェハの一括露光ごとにウェハをステップ移動して次のショットの露光領域に移動する露光方法である。

【0039】

照明装置100は、転写用の所望のパターン210が形成されたマスク200を照明し、光源部110と、照明光学系120とを有する。

【0040】

光源部110は、例えば、光源としてレーザーを使用する。レーザーは、波長約193nmのArFエキシマレーザー、波長約248nmのKrFエキシマレーザー、波長約153nmのF₂エキシマレーザーなどを使用することができるが、レーザーの種類はエキシマレーザーに限定されず、例えば、YAGレーザーを使用してもよいし、そのレーザーの個数も限定されない。また、光源部110に使用可能な光源はレーザーに限定されるものではなく、一又は複数の水銀ランプやキセノンランプなどのランプも使用可能である。

【0041】

照明光学系120は、マスク200を照明する光学系であり、マスク200を照明する有効光源の分布形状を可変とすることができる。照明光学系120は、本実施形態では、インพุットレンズ121と、フライアイレンズ122と、開口絞り123と、第1のリレーレンズ124と、投影式レチクルブラインド125と、第2のリレーレンズ126と、メインコンデンサーレンズ127とを有する。なお、照明光学系120は、開口形状を変更可能な開口絞り123により、任意の有効光源分布を形成しているが、例えば、プリズムなどを用いてもよい。

【0042】

光源部110から射出される照明される照明光ILは、インพุットレンズ121、フライアイレンズ122を経て、開口絞り123にて任意の有効光源分布に

形成された後、第1のリレーレンズ124を通り、投影式レチクルブラインド125にてマスク200上の照明領域を限定されて、第2のリレーレンズ126、メインコンデンサーレンズ127を経てマスク200を照明する。

【0043】

マスク200は、例えば、石英製で、その上には転写されるべき所望のパターン（又は像）210が形成され、図示しないマスクステージに支持及び駆動される。マスク200上に配置された所望のパターン210は、照明光ILにて照明され、投影光学系300を介してウェハステージ450上に載置されたプレート400上に投影される。マスク200とプレート400は、光学的に共役の関係にある。本実施形態の露光装置1はスキャナーであるため、マスク200とプレート400を縮小倍率比の速度比でスキャンすることによりマスク200のパターン210をプレート400上に転写する。なお、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置（「ステッパー」とも呼ばれる。）の場合は、マスク200とプレート400を静止させた状態で露光が行われる。

【0044】

投影光学系300は、複数のレンズ素子のみからなる光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する光学系（カタディオプトリック光学系）、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折光学素子とを有する光学系、全ミラー型の光学系等を使用することができる。色収差の補正が必要な場合には、互いに分散値（アッベ値）の異なるガラス材からなる複数のレンズ素子を使用したり、回折光学素子をレンズ素子と逆方向の分散が生じるように構成したりする。

【0045】

プレート400は、ウェハステージ450上のウェハホルダー452に吸着保持されており、オートフォーカス系500の検出結果に基づき、制御回路510に制御された駆動機構520によってプレート400の表面と投影光学系300の結像面ZPとを一致させることができるようになっている。また、プレート400は、ウェハステージ450によってX方向、又は、Y方向に移動可能であり、プレート400の任意の位置にマスク200上の所望のパターン210の投影光

学系 300 を介した投影像を転写可能となっている。

【0046】

制御部 600 は、投影光学系 300 の波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した場合の Z e r n i k e 係数の変化に対する所望のパターン 210 の像質の変化の敏感度を表す Z e r n i k e 敏感度係数に基づいて、有効光源の分布形状を制御する。即ち、制御部 600 は、照明光学系 120 の開口絞り 123 の開口形状を制御して、最適有効光源分布を形成する。

【0047】

図 3 は、図 2 に示すマスク 200 上の所望のパターン 210 の詳細を示す概略平面図である。所望のパターン 210 は、本実施形態では、L 字形状をしており、図中縦方向のパターン 210 a の線幅 h_d と図中横方向のパターン 210 b の線幅 v_d との差分 $\Delta h_v = h_d - v_d$ の値を、プレート 400 上に投影された投影像において小さく抑えることが、かかる L 字形状の所望のパターン 210 に必要な像質とする。即ち、露光方法 1000 のステップ 1004 における数式 4 の改善したい像質 x を Δh_v とする。

【0048】

図 4 は、最適化を行う前の照明光学系 120 の有効光源分布 130 を示す概略平面図である。有効光源分布 130 は、図 4 に示すように、輪帯形状をしており、投影光学系 300 の開口数に相当する円の直径を 1 としたとき、輪帯形状の外側の直径は 0.75、内側の直径は 0.50 である。なお、図 4 に示す有効光源分布 130 は、典型的に、露光装置 1 の照明光学系 120 において、フライアイレンズ 122 の射出面の直後に配置された開口絞り 123 の形状として具体化される。開口絞り 123 は、露光装置 1 の投影光学系 300 の瞳面 310 と共役な位置に設けられており、開口絞り 123 の開口形状は投影光学系 300 の瞳面 310 の有効光源分布に相当する。

【0049】

図 3 に示すマスク 200 の所望のパターン 210 を、図 4 に示す有効光源分布 130 をもち、光源部 110 が K r F エキシマレーザーである照明装置 100 で照明し、開口数 0.73 の投影光学系 300 を介したプレート 400 上での投影

像において、各 Z e r n i k e 係数の変化に対し、パターン 2 1 0 a の線幅 $h d$ とパターン 2 1 0 b の線幅 $v d$ がどのように変化するかを光学シミュレーションによって計算した結果の一例を図 5 に示す。ここで、計算に使用した Z e r n i k e 係数 C_i ($i = 1 \sim 36$) の数式 1 に対応する数式を表 1 に示す。

【 0 0 5 0 】

【表 1】

	R		$R_n^m(r)$		
	m	n			
C1	0	0	1		
C2	1	1	r	$\cos\theta$	DistX
C3	1	1		$\sin\theta$	DistY
C4	0	2	$2r^2-1$		Defocus
C5	2	2	r^2	$\cos 2\theta$	As-SM
C6	2	2		$\sin 2\theta$	As-HV
C7	1	3	$3r^3-2r$	$\cos\theta$	ComaX
C8	1	3		$\sin\theta$	ComaY
C9	0	4	$6r^4-6r^2+1$		SA
C10	3	3	r^3	$\cos 3\theta$	3leaf-
C11	3	3		$\sin 3\theta$	Clover
C12	2	4	$4r^4-3r^2$	$\cos 2\theta$	As-SM
C13	2	4		$\sin 2\theta$	As-HV
C14	1	5	$10r^5-12r^3+3r$	$\cos\theta$	ComaX
C15	1	5		$\sin\theta$	ComaY
C16	0	6	$20r^6-30r^4+12r^2-1$		SA
C17	4	4	r^4	$\cos 4\theta$	
C18	4	4		$\sin 4\theta$	
C19	3	5	$5r^5-4r^3$	$\cos 3\theta$	3leaf-
C20	3	5		$\sin 3\theta$	Clover
C21	2	6	$15r^6-20r^4+6r^2$	$\cos 2\theta$	As-SM
C22	2	6		$\sin 2\theta$	As-HV
C23	1	7	$35r^7-60r^5+30r^3-4r$	$\cos\theta$	ComaX
C24	1	7		$\sin\theta$	comaY
C25	0	8	$70r^8-140r^6+90r^4-20r^2+1$		SA
C26	5	5	r^5	$\cos 5\theta$	
C27	5	5		$\sin 5\theta$	
C28	4	6	$6r^6-5r^4$	$\cos 4\theta$	
C29	4	6		$\sin 4\theta$	
C30	3	7	$21r^7-30r^5+10r^3$	$\cos 3\theta$	3leaf-
C31	3	7		$\sin 3\theta$	clover
C32	2	8	$56r^8-105r^6+60r^4-10r^2$	$\cos 2\theta$	As-SM
C33	2	8		$\sin 2\theta$	As-HV
C34	1	9	$126r^9-280r^7+210r^5-60r^3+5r$	$\cos\theta$	comaX
C35	1	9		$\sin\theta$	comaY
C36	0	10	$252r^{10}-630r^8+560r^6-210r^4+30r^2-1$		SA
(C49)	0	12			SA

【0051】

図5は、Zernike係数 C_{11} の変化に対する図3に示すパターン210aの線幅 hd とパターン210bの線幅 vd の変化を示すグラフである。図5を参照するに、パターン210aの線幅 hd とパターン210bの線幅 vd は、Zernike係数 C_{11} の変化に対して2次関数形状で変化をし、以下に示す数式7で表すことができる。

【0052】

【数7】

$$hd = a_h \times (C_{11})^2 + h0$$
$$vd = a_v \times (C_{11})^2 + v0$$

【0053】

但し、 $h0$ 及び $v0$ は、投影光学系300の残収差が0の場合のパターン210aの線幅 hd 及びパターン210bの線幅 vd である。

【0054】

即ち、露光方法1000のステップ1004における数式4で表されるZernike敏感度係数 a_{ijk} の内、Zernike係数 C_{11} に対する像質 Δh のZernike敏感度係数を a_h 及び a_v で表す。

【0055】

また、図5を参照するに、投影光学系300にZernike係数 C_{11} が大きくなるような残収差がある場合、図3の示したL字形状の所望のパターン210の投影像の Δh が劣化することがわかる。

【0056】

Zernike係数 C_{11} で表されるような残収差は、従来の露光装置に搭載されている収差補正機構では補正できない収差である。

【0057】

そこで、本発明の露光方法1000に基づき、最適有効光源分布を形成し、Zernike係数 C_{11} で表される投影光学系300の残存収差による像質劣化を改善する。

【0058】

露光方法1000は、上述したように、各Zernike項毎に、かかるZernike係数の変化量に対する点光源による投影像の像質変化（Zernike敏感度係数）を全ての有効な光源位置に対してデータベース化することが可能であり、かかるデータベースから所望のパターン210の投影像の像質を最適にする各点光源の強度を変えた組み合わせから最適有効光源分布を決定することができる。但し、本実施形態では、説明を簡略にするために、図6に示すように、有効光源分布140の中心Cを通る水平線上に直径0.10の2つの有効光源142を付加し、2つの有効光源142間の距離 r_s を変化させた場合の像質 Δh_v のZernike敏感度係数を数式7の2次関数 a_h 及び a_v で表して有効光源分布140を最適化し、像質 Δh_v を改善する方法について説明する。ここで、図6は、Zernike敏感度係数を求めるための有効光源分布140を示す概略平面図である。

【0059】

2つの有効光源142間の距離 r_s を変化させた場合における、Zernike係数 C_{11} の変化に対するパターン210aの線幅 h_d とパターン210bの線幅 v_d のZernike敏感度係数 a_h 及び a_v の変化を表2に示す。表2の値は、露光方法1000において、Zernike係数 C_{11} についてのみZernike敏感度係数 a_{ijk} を計算した結果に相当する。

【0060】

【表 2】

	a_h	a_v	$a_h - a_v$
有効光源付加なし	-0.470	-0.511	0.041
$rs = 0$	-0.488	-0.498	0.011
$rs = 0.15$	-0.493	-0.482	-0.010
$rs = 0.25$	-0.472	-0.478	0.006
$rs = 0.35$	-0.452	-0.475	0.023
$rs = 0.45$	-0.450	-0.480	0.030
$rs = 0.75$	-0.520	-0.475	-0.046
$rs = 0.85$	-0.568	-0.442	-0.126

【0061】

表 2 を参照するに、図 4 に示す最適化を行う前の照明光学系 120 の有効光源分布 130 では、Zernike 敏感度係数 a_h 及び a_v の差が大きく、図 5 に示したように、投影光学系 300 に Zernike 係数 C_{11} が大きくなるような残存収差がある場合、図 2 に示した L 形状の所望のパターン 210 の投影像の像質 Δh_v が劣化することが理解できる。

【0062】

一方、図 6 のように 2 つの小さな有効光源 142 を付加した場合、Zernike 敏感度係数 a_h 及び a_v の差を小さくすることができることも表 2 からわかる。即ち、2 つの有効光源 142 間の距離 $rs = 0.25$ となる 2 つの有効光源 142 を付加することにより、投影光学系 300 に Zernike 係数 C_{11} が大きくなるような残存収差がある場合にも像質 Δh_v の劣化を改善できることがわかる。つまり、露光方法 1000 から求められる最適な有効光源分布は、図 7 に示すように、図 4 の有効光源分布 130 に距離 $rs = 0.25$ となる 2 つの有効光源 142 を付加した有効光源分布 140 である。図 7 は、最適化を行った後の照明光学系 120 の有効光源分布 140 を示す概略平面図である。

【0063】

実際に Zernike 係数 C_{11} を変化させた場合の Δh_v の変化を図 4 の最適化を行う前の照明光学系 120 の有効光源分布 130 と図 7 の最適な有効光源

分布 140 とを比較した結果を図 8 に示す。図 8 を参照するに、図 4 の有効光源分布 130 を図 7 の最適な有効光源分布 140 にすることで、Zernike 係数 C_{11} で表される大きな残収差が投影光学系 300 にある場合でも、像質 Δh_v の劣化を防ぐことができることがわかる。ここで、図 8 は、最適化前後の有効光源分布 130 及び 140 における Zernike 係数 C_{11} で表される投影光学系 300 の残収差による像質 Δh_v の変化を示すグラフである。

【0064】

このように、投影光学系 300 に残収差がある場合に、かかる残収差によって発生するマスク 200 上の所望のパターン 210 のプレート 400 への投影像の像質劣化を、照明光学系 120 で形成される有効光源分布を最適化することによって補正する際に、有効光源を任意の領域をもつ点光源の集合と見なし、投影光学系 300 の残収差を Zernike 多項式に分解した場合の各 Zernike 項毎にその Zernike 係数の変化量に対する各点光源による投影像の像質変化 (Zernike 敏感度係数) を全ての有効な光源位置に対して計算し、表 2 に示すようにデータベース (テーブル) 化することによって、像質改善に最適な有効光源分布を簡易に決定することができる。

【0065】

本実施形態では、説明を簡略化するために、投影光学系 300 の残収差が Zernike 係数 C_{11} に相当する収差のみが大きく発生しているものとして計算し、表 2 においても Zernike 係数 C_{11} 項に対する Zernike 敏感度係数を示したが、残収差が Zernike 係数 C_{11} 項以外の場合であっても同様にその Zernike 係数項に対する Zernike 敏感度係数を計算することによって最適な有効光源分布を決定することができる。

【0066】

また、投影光学系 300 の残収差が複数の Zernike 係数項の組み合わせで表される場合であっても、複数の Zernike 係数に対する Zernike 敏感度を計算し、投影像の像質劣化を複数の Zernike 敏感度の関数として表すことによって、像質劣化を最小とする最適な有効光源分布を決定することができる。

【0067】

更に、本実施形態では、マスク200に形成される所望のパターン210をL字形状のパターンとし、改善すべき像質劣化を $\Delta h v$ で表される量としたが、形状の異なるパターンの異なる量で評価される像質であっても、かかるパターンでの着目すべき像質に対するZernike敏感度係数を求めることによって、像質劣化を最小とする最適な有効光源分布を決定することができる。また、着目すべき像質が複数であっても、同様に、最適な有効光源分布を決定することができる。

【0068】

更に、所望のパターンの改善すべき像質のZernike敏感度係数を計算し、データベース化する過程と、かかるデータベースから最適な有効光源分布を決定する過程を自動的に計算できるようにソフトウェア化することも可能である。このようなプログラムも本発明の側面を構成する。

【0069】

更に、データベースを記憶した装置と計算機から構成される最適な有効光源分布を決定するシステムとして構成することも可能である。なお、本実施形態では、かかる最適な有効光源分布を決定するシステムを露光装置1の制御部600が担っている。

【0070】

更に、露光装置1の有する投影光学系300の収差に対する最適な有効光源分布を自動計算し、露光装置1にフィードバックをかけるように構成することもできる。例えば、有効光源分布を任意の形状に変えられる機構を構成すれば、計算結果に応じて、最適な有効光源分布に自動的に変更する露光システムを構成することも可能である。

【0071】

ここで、有効光源分布を任意の形状に変えられる機構としてテキサスインスツルメンツ社のDigital Mirror Device（以下、DMDと称する。）を用いて露光システムを構成した実施例を説明する。

【0072】

図9は、DMD700を示す概略構成図である。DMD700の表面には微細なミラー710が格子状に並べられていて、一つのミラー面を構成している。更に、一つ一つの微細なミラー710は、傾きを変えられるようにねじれヒンジ720で支持されており、ミラー710の下に配置された2つの駆動電極を、オン及びオフすることで、静電気力でミラー710を吸引して傾きを制御することができる。即ち、ミラー面を分割した微細な領域毎にミラー710の角度を±10度の範囲で制御できるようになっている。微細なミラーの駆動機構の下には、制御用の電子回路730が構成されており、制御信号の入力で毎秒5000回以上のミラー駆動制御が可能となっている。

【0073】

図10は、図9に示すDMD700を用いた有効光源分布の形状を任意に変換することができる照明装置800の一例を示す概略構成図である。図10を参照するに、光源部110から射出した光は、インプットレンズ121によってフライアイレンズ122上に結像する。即ち、照明装置800は、フライアイレンズ122を2次光源とするケーラー照明をしている。フライアイレンズ122の射出面とリレーレンズ124を通した共役な位置には、DMD700が配置されており、DMD700のミラー面にフライアイレンズ122の射出面が結像する。つまり、DMD700のミラー面上には2次光源形状、即ち、有効光源形状が投影されていることになる。

【0074】

ここで、図11に示すように、DMD700の微細ミラー710のうち、有効光源分布に使用する部分にあたるミラー710aを-10度に、有効光源分布に使用しない部分のミラー710bを+10度に傾ける。図11は、図10に示すDMD700の部分拡大図である。

【0075】

-10度に傾けたミラー710aからの反射光RL1は左下方向に反射し、図10に示すリレーレンズ126、リレーレンズ128及びコンデンサーレンズ127を経てマスク200面を照明する。一方、+10度に傾けたミラー710bからの反射光RL2は左上方向に反射し、図10に示すリレーレンズ129を経

て光吸収体 821 に吸収される。

【0076】

即ち、 -10 度に傾けたミラー 710 b からの反射光 RL1 のみが、有効光源としてマスク 200 面上を照明することになり、 -10 度及び $+10$ 度に傾けるミラー 710 a 及び 710 b の位置を任意に制御することにより、マスク 200 面を照明する照明光の有効光源分布の形状を任意に変更することができる。

【0077】

図 12 は、図 9 に示す DMD 700 を用いた有効光源分布の形状を任意に可変することができる別の照明装置 900 の一例を示す概略構成図である。照明装置 900 は、図 10 に示す照明装置 800 と同じく、フライアイレンズ 122 を二次光源とするケーラー照明をしている。フライアイレンズ 122 の後段に偏光ビームスプリッター 921 が配置されており、照明光の偏光状態に応じて光路は 2 つに分割させる。2 つの光路に分かれた照明光は、 $\lambda/4$ 板 922 及びリレーレンズ 924 を経て DMD 700 a に、 $\lambda/4$ 板 923 及びリレーレンズ 925 を経て DMD 700 b に到達する。照明装置 900 は、図 10 に示す照明装置 800 と同様に、DMD 700 a 及び 700 b は、フライアイレンズ 122 と共役な位置に配置されており、偏光状態に応じた有効光源分布が DMD ミラー面上に投影される。

【0078】

ここで、図 13 に示すように、DMD 700 a 及び 700 b において、マスク 200 を照明する有効光源として使用する部分のミラー 710 a を 0 度に、有効光源として使用しない部分のミラー 710 b を -10 度に傾けると、 0 度のミラー 710 a に投影された照明光 RL1 は、ミラー 710 a で正反射し、 $\lambda/4$ 板 922 ($\lambda/4$ 板 923) を経てビームスプリッター 921 に再び入射する。一方、 -10 度に傾いたミラー 710 b からの反射光 RL2 は、左下方向に反射され、図 12 に示すリレーレンズ 926 (リレーレンズ 927) を経て光吸収体 928 (光吸収体 929) に吸収される。図 13 は、図 12 に示す DMD 700 a (DMD 700 b) の部分拡大図である。

【0079】

ミラー 710 a で正反射された照明光 R L 1 は、行き帰りで $\lambda/4$ 板 922 ($\lambda/4$ 板 923) を 2 回通ることになるので偏光状態が反転し、ビームスプリッター 921、リレーレンズ 931、コンデンサーレンズ 127 を経て、マスク 200 面上を照明する。

【0080】

この際、DMD 700 a 及び 700 b を連動して駆動させ、ビームスプリッター 921 で分かれた 2 つの光路で形成される有効光源分布の形状を一致させることで、照明光の光量の損失を少なくすることができる。

【0081】

ビームスプリッター 921 とリレーレンズ 931 との間に $\lambda/4$ 板 932 を配置することで、マスク 200 面上に照射する照明光を無偏光化することができる。また、干渉縞による照明光の照度ムラが問題となる場合は、光源部 110 にインコヒーレント化された光を用いればよい。

【0082】

このように、DMD 700 を用いることにより、照明光の有効光源分布を任意に変更可能な照明装置を構成することが可能である。また、有効光源分布の形状を任意に変更する手段として、例えば、所望のパターンの種類に応じて、必要な数だけ最適な有効光源分布を形成可能な開口絞り 123 を照明光学系 120 内に保持し、図示しない制御機構によって自動的に切り替える機構であってもよい。また、開口絞り 123 を任意の位置の照明光を透過、又は、遮断の切り替えのできる、例えば、液晶表示装置のような機構とし、図示しない制御装置で自動的に任意の形状を形成できるようにしてもよい。

【0083】

次に、図 14 及び図 15 を参照して、上述の露光装置 1 を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図 14 は、デバイス (IC や LSI などの半導体チップ、LCD、CCD 等) の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ 1 (回路設計) では、デバイスの回路設計を行う。ステップ 2 (マスク製作) では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ 3 (ウェハ製造) では、シリコンなどの

材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いて本発明のリソグラフィー工程によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、それが出荷（ステップ7）される。

【0084】

図15は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置1によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本発明のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、本発明のリソグラフィー技術を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

【0085】

以上、本発明の好ましい実施例を説明したが、本発明はこれらに限定されずその要旨の範囲内で様々な変形や変更が可能である。

【0086】

【発明の効果】

本発明の露光方法及び装置によれば、投影光学系の残存収差による像質劣化を

抑え、所望のパターンを解像度よく形成することができる。よって、かかる露光方法及び装置は、高品位なデバイスを露光性能良く提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の例示的一態様である露光方法を説明するためのフローチャートである。

【図 2】 本発明の一側面としての露光装置の例示的一形態を示す概略構成図である。

【図 3】 図 2 に示すマスク上の所望のパターンの詳細を示す概略平面図である。

【図 4】 最適化を行う前の照明光学系の有効光源分布を示す概略平面図である。

【図 5】 Z e r n i k e 係数の変化に対する図 3 に示すパターンの線幅の変化を示すグラフである。

【図 6】 Z e r n i k e 敏感度係数を求めるための有効光源分布を示す概略平面図である。

【図 7】 最適化を行った後の照明光学系の有効光源分布を示す概略平面図である。

【図 8】 最適化前後の有効光源分布における Z e r n i k e 係数で表される投影光学系の残収差による像質の変化を示すグラフである。

【図 9】 D i g i t a l M i r r o r D e v i c e を示す概略構成図である。

【図 10】 図 9 に示す DMD を用いた有効光源分布の形状を任意に変換することができる照明装置の一例を示す概略構成図である。

【図 11】 図 10 に示す DMD の部分拡大図である。

【図 12】 図 9 に示す DMD を用いた有効光源分布の形状を任意に変換することができる別の照明装置の一例を示す概略構成図である。

【図 13】 図 12 に示す DMD の部分拡大図である。

【図 14】 デバイス（I C や L S I などの半導体チップ、L C D、C C D 等）の製造を説明するためのフローチャートである。

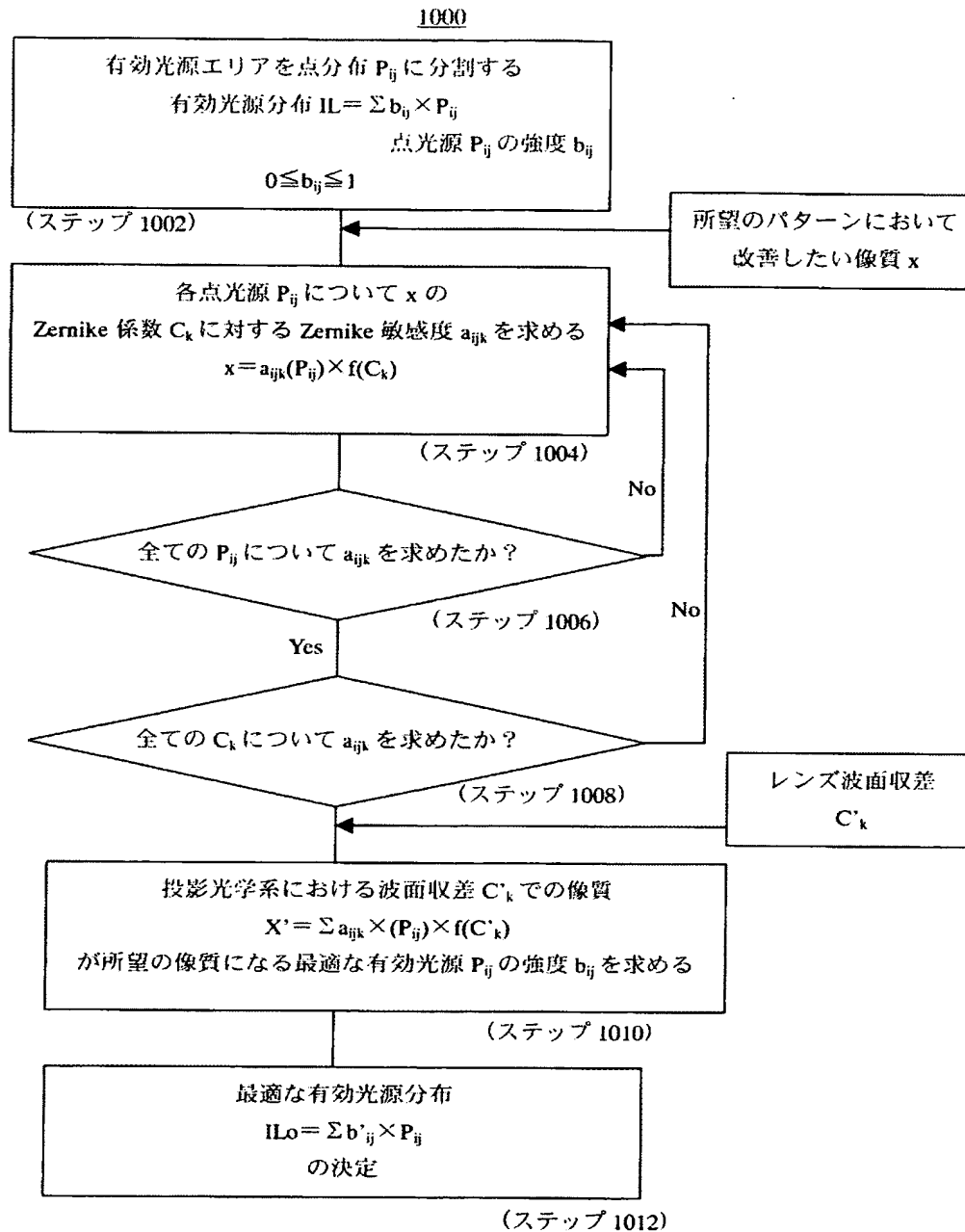
【図 15】 図 14 に示すステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

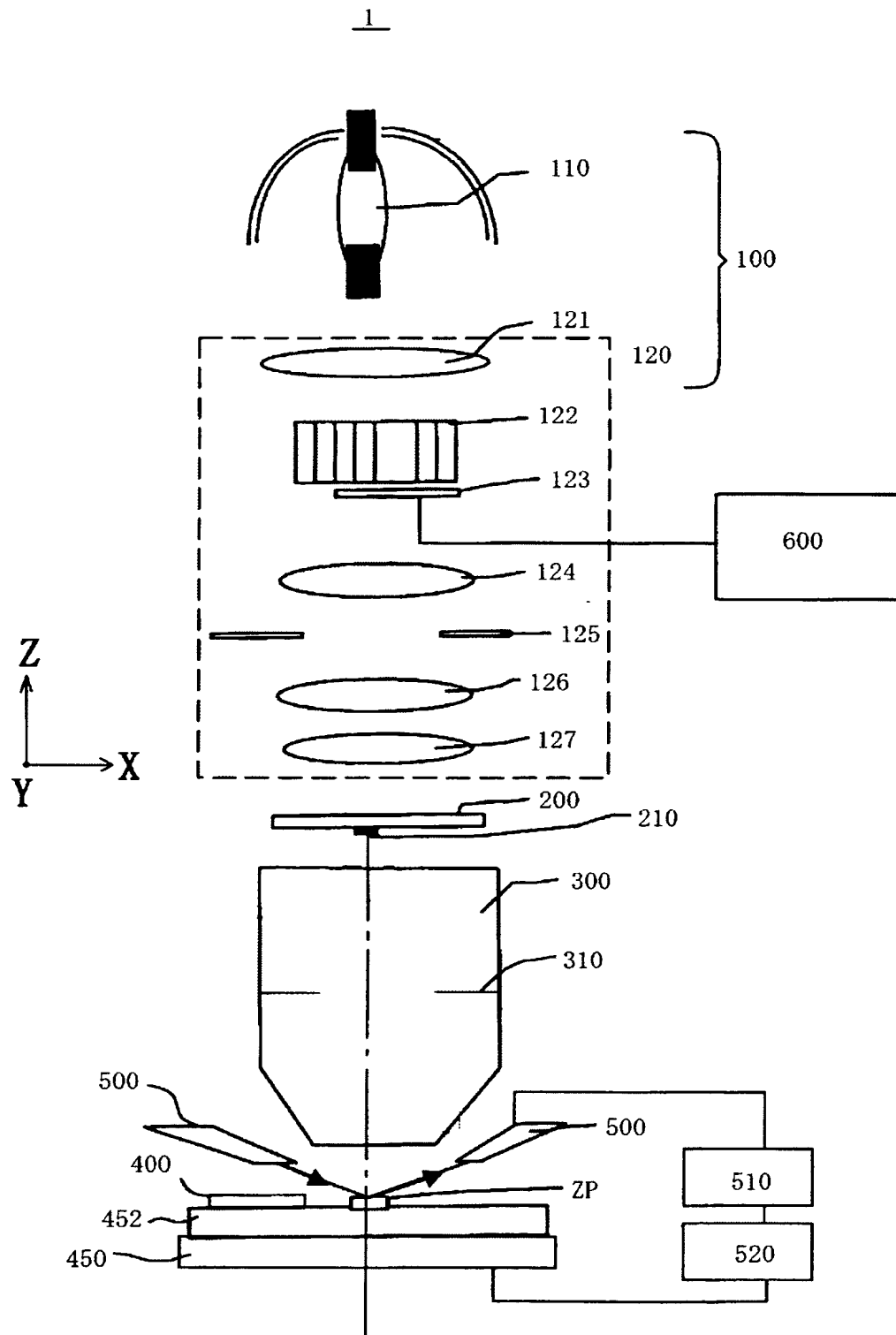
1	露光装置
100	照明装置
120	照明光学系
121	インプットレンズ
122	フライアイレンズ
123	開口絞り
124	第 1 のリレーレンズ
125	投影式レチクルブラインド
126	第 2 のリレーレンズ
127	メインコンデンサーレンズ
200	マスク
210	所望のパターン
300	投影光学系
400	プレート
600	制御部
700	D i g i t a l M i r r o r D e v i c e
710	ミラー
800	照明装置
821	光吸収体
900	照明装置
921	ビームスプリッター
922、923、932	$\lambda/4$ 板
928、929	光吸収体

【書類名】 図面

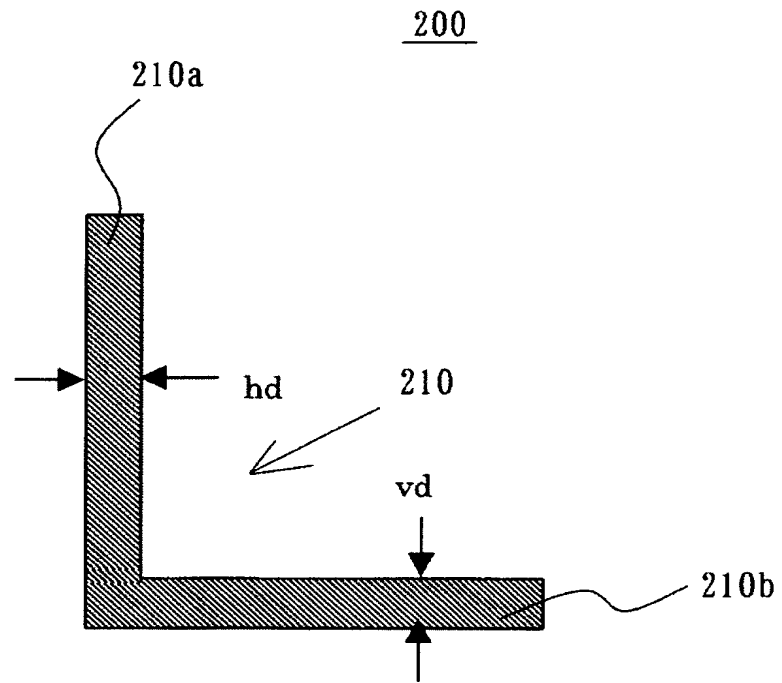
【図 1】



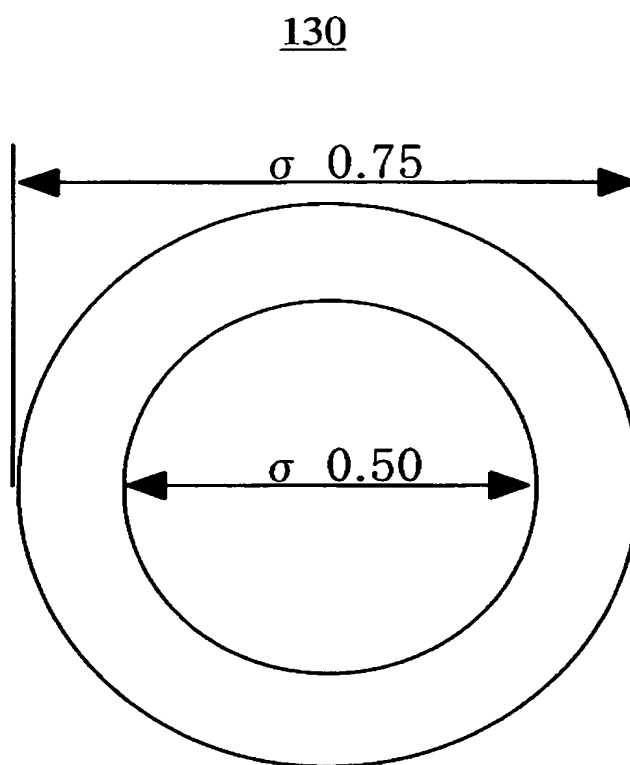
【図 2】



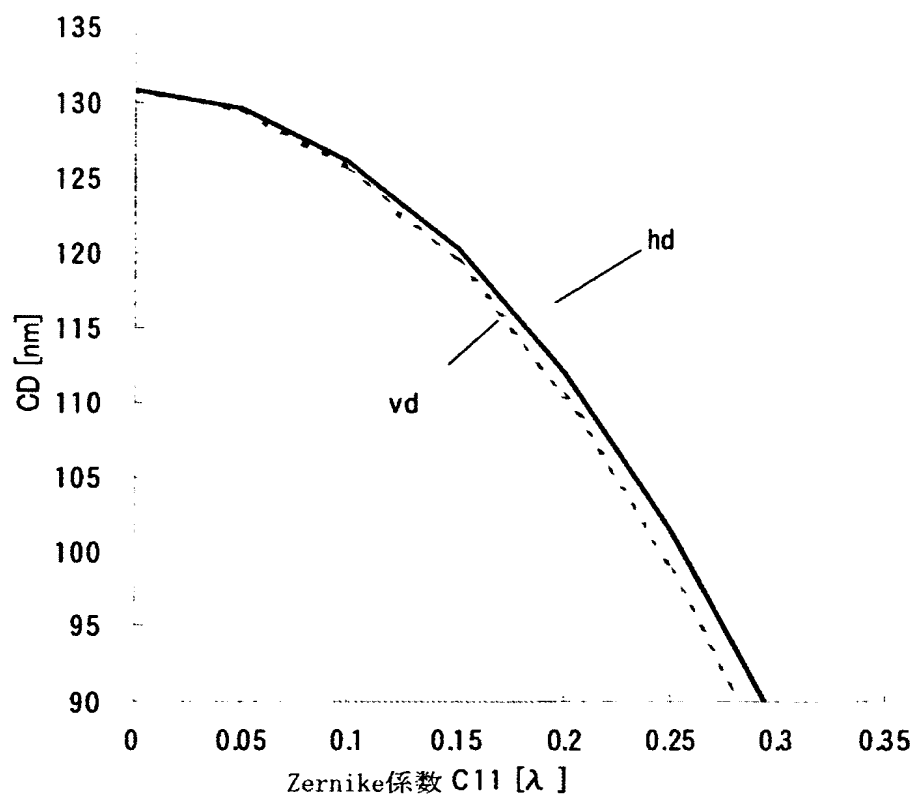
【図 3】



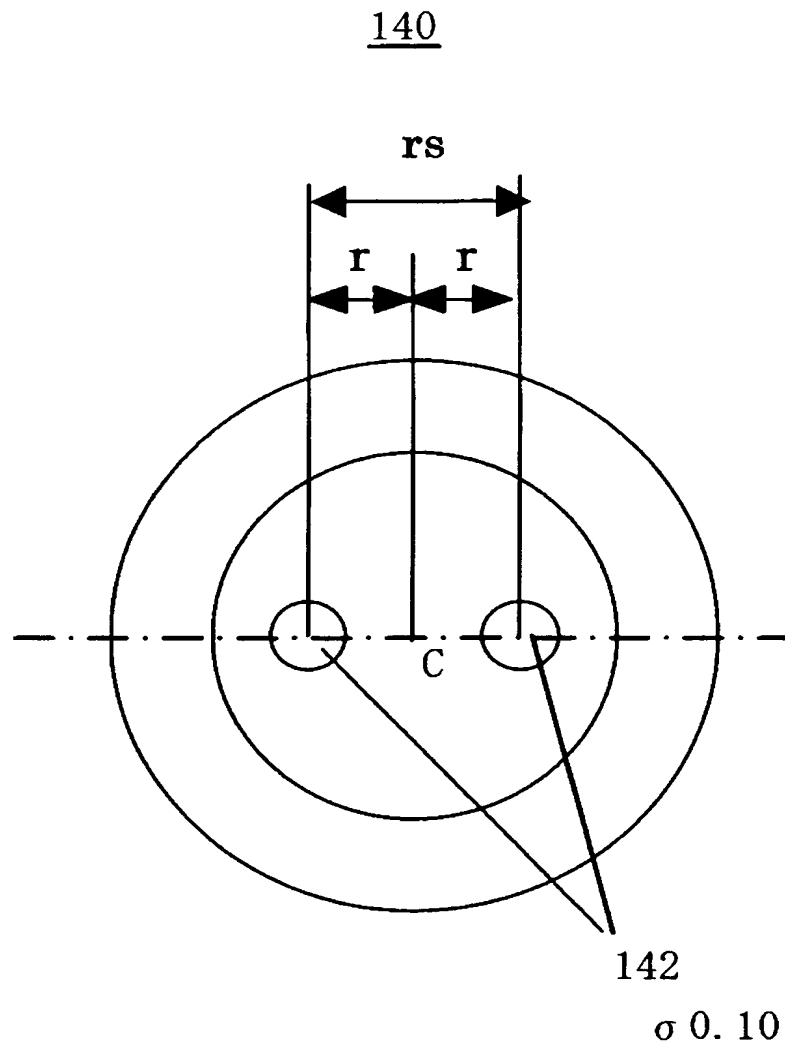
【図 4】



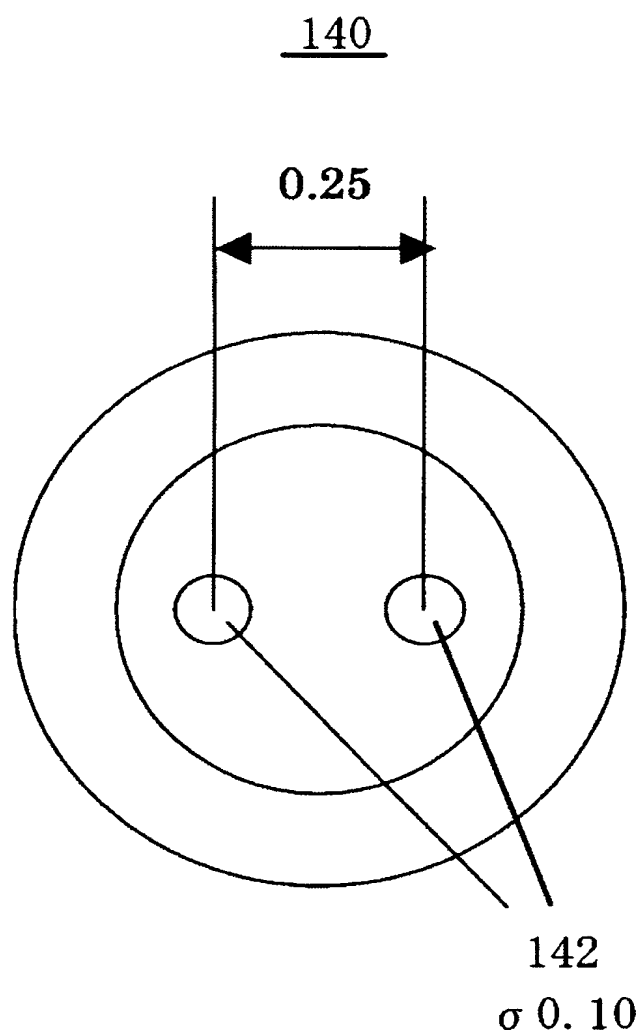
【図 5】



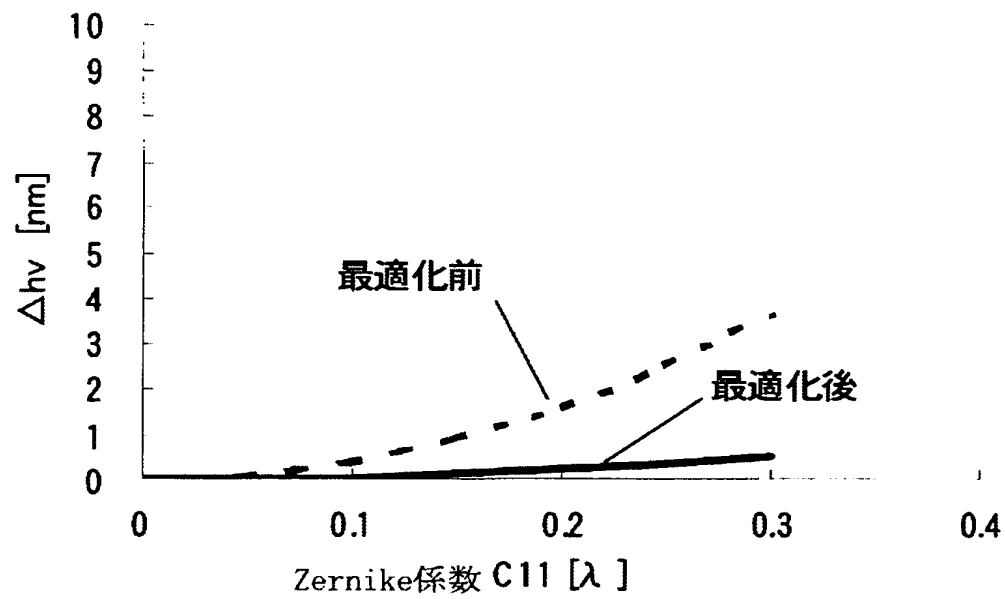
【図 6】



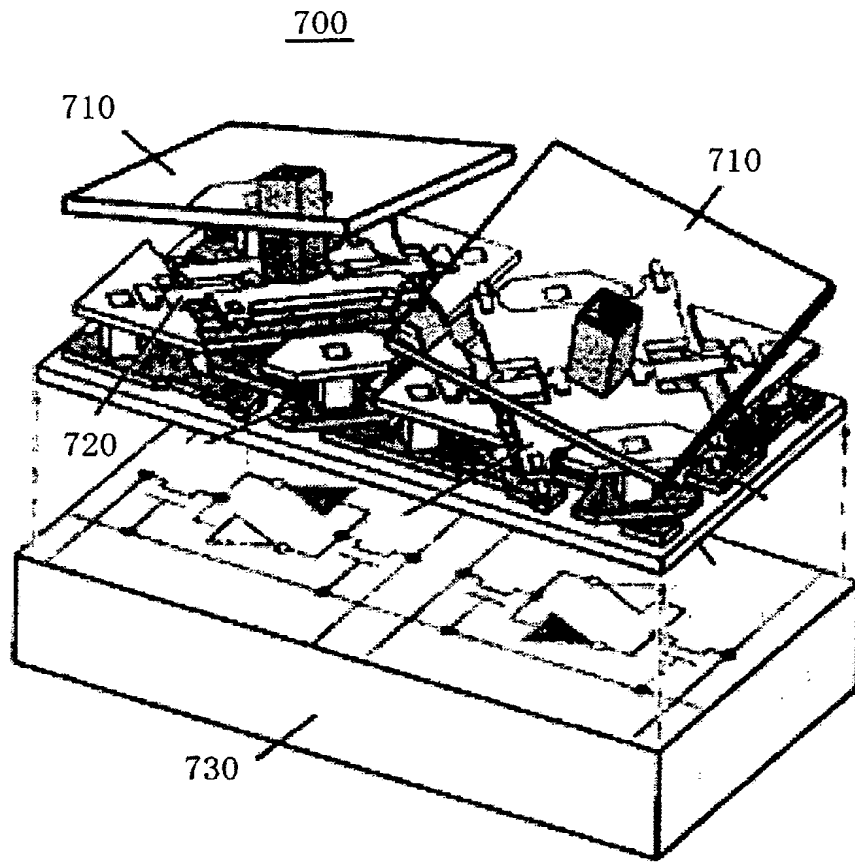
【図 7】



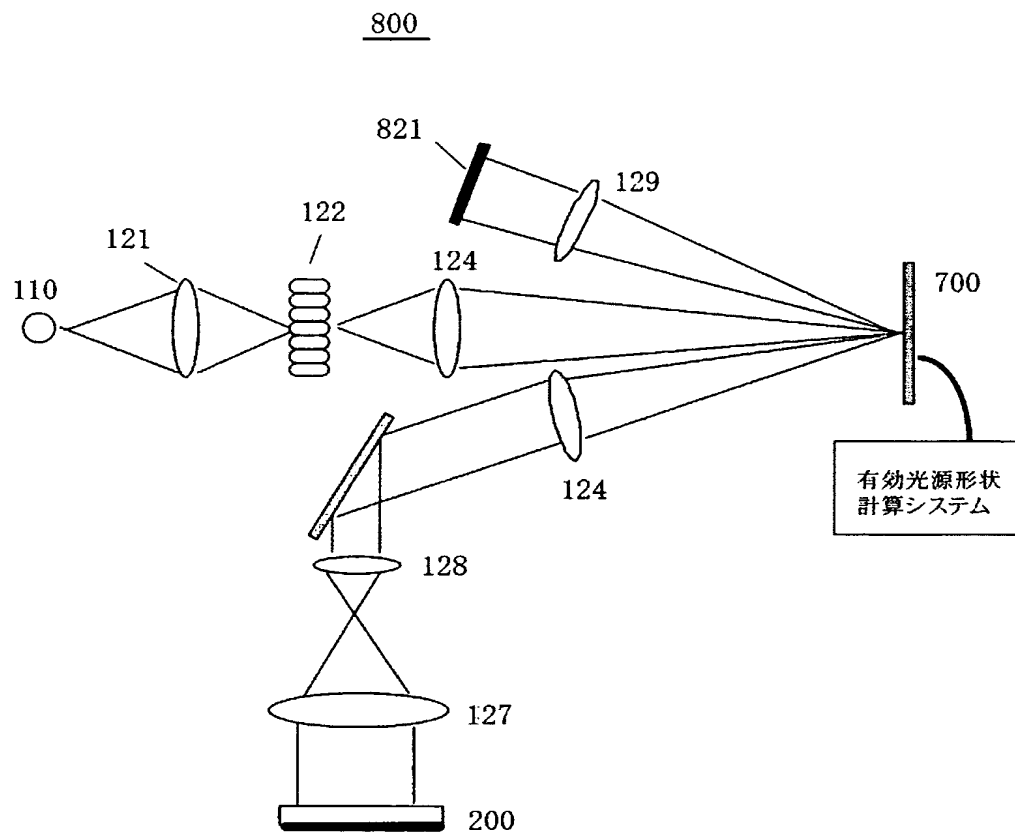
【図 8】



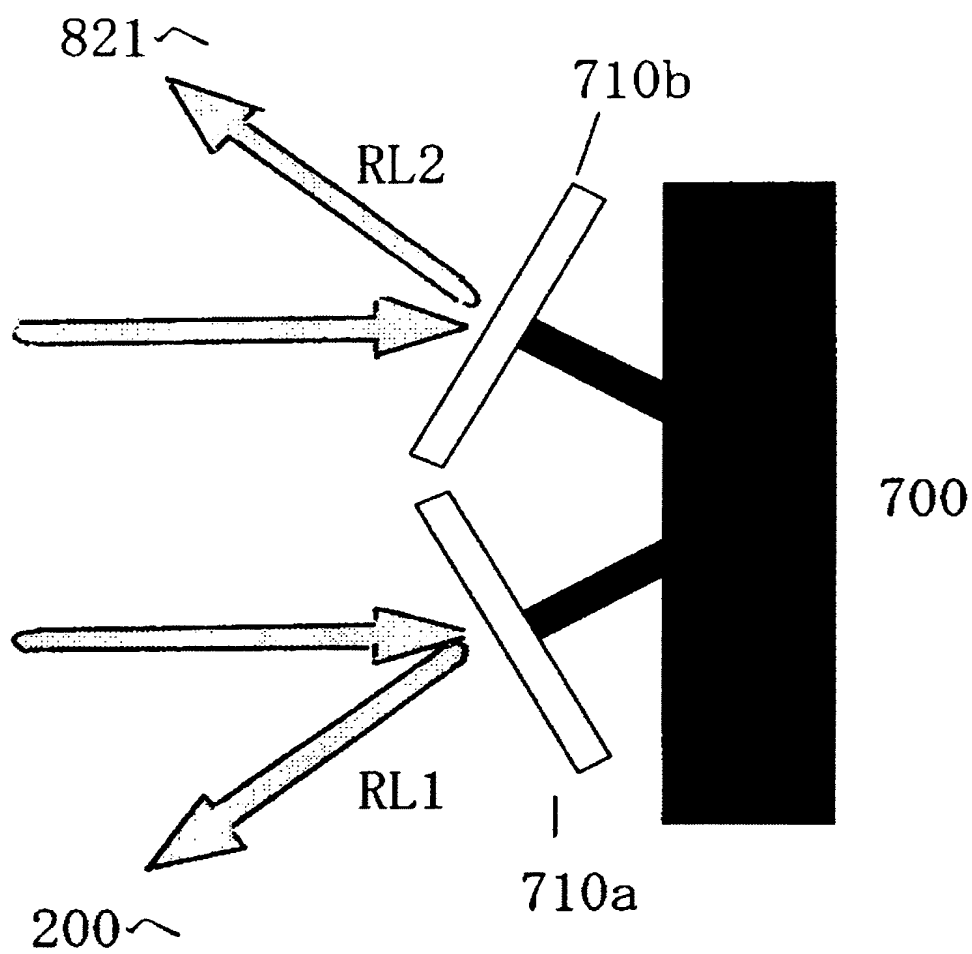
【図 9】



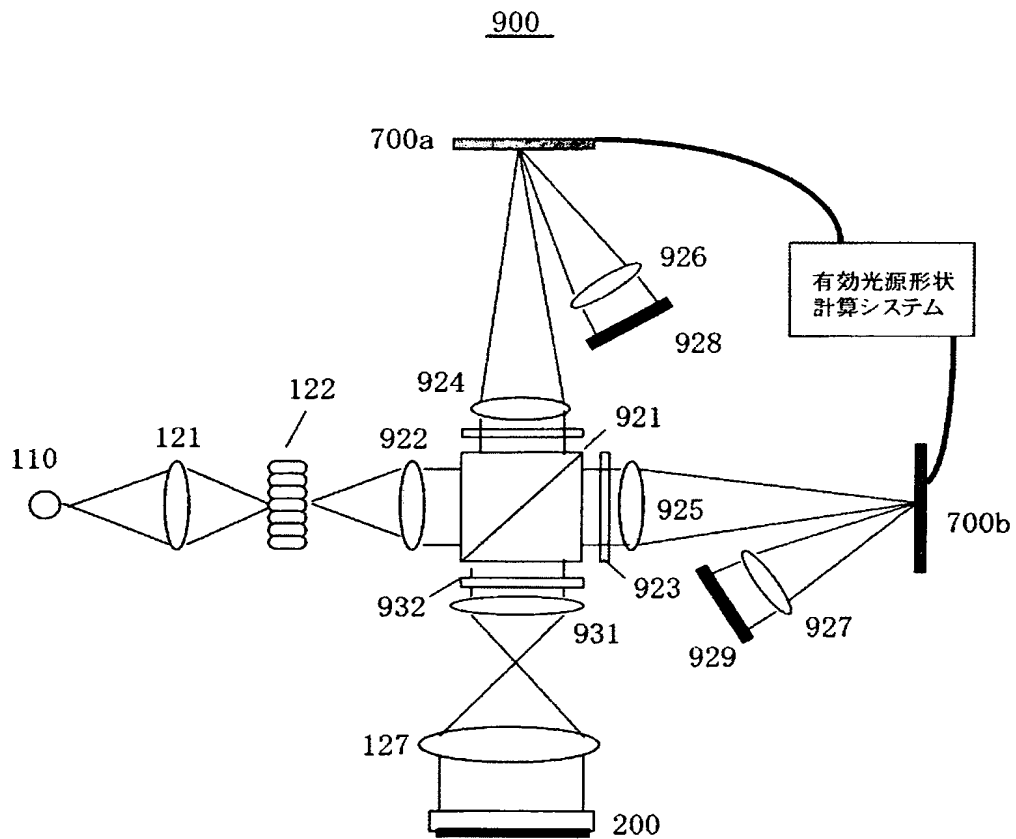
【図 10】



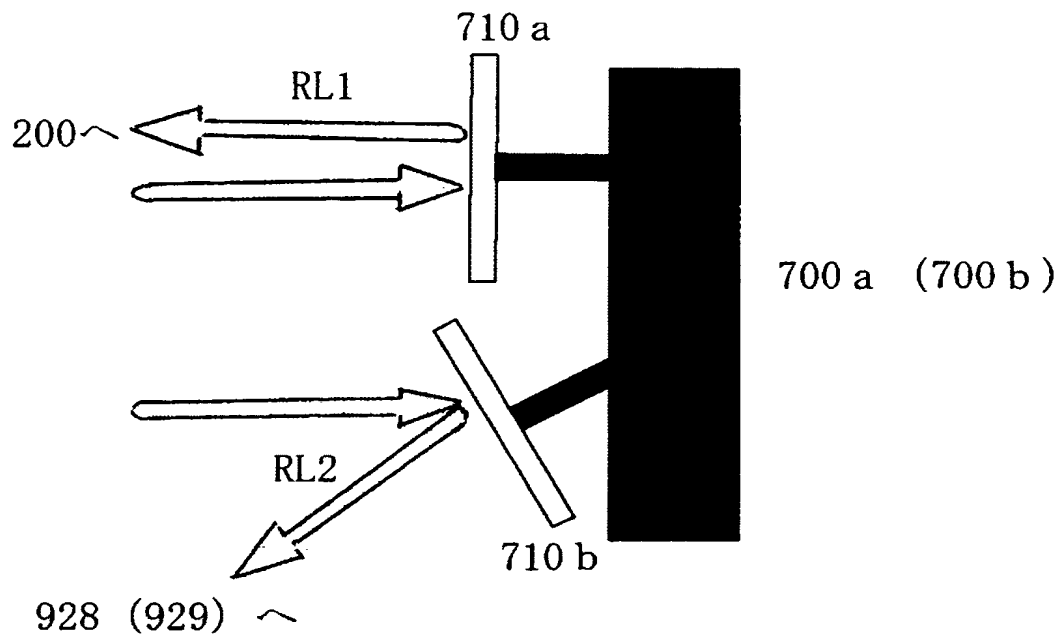
【図 11】



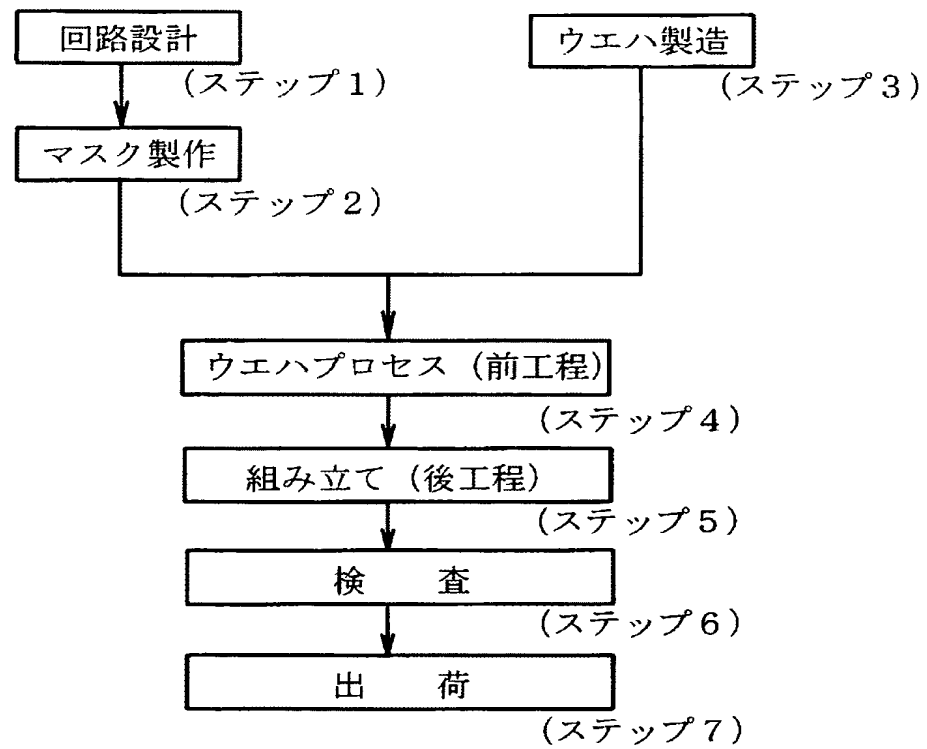
【図 12】



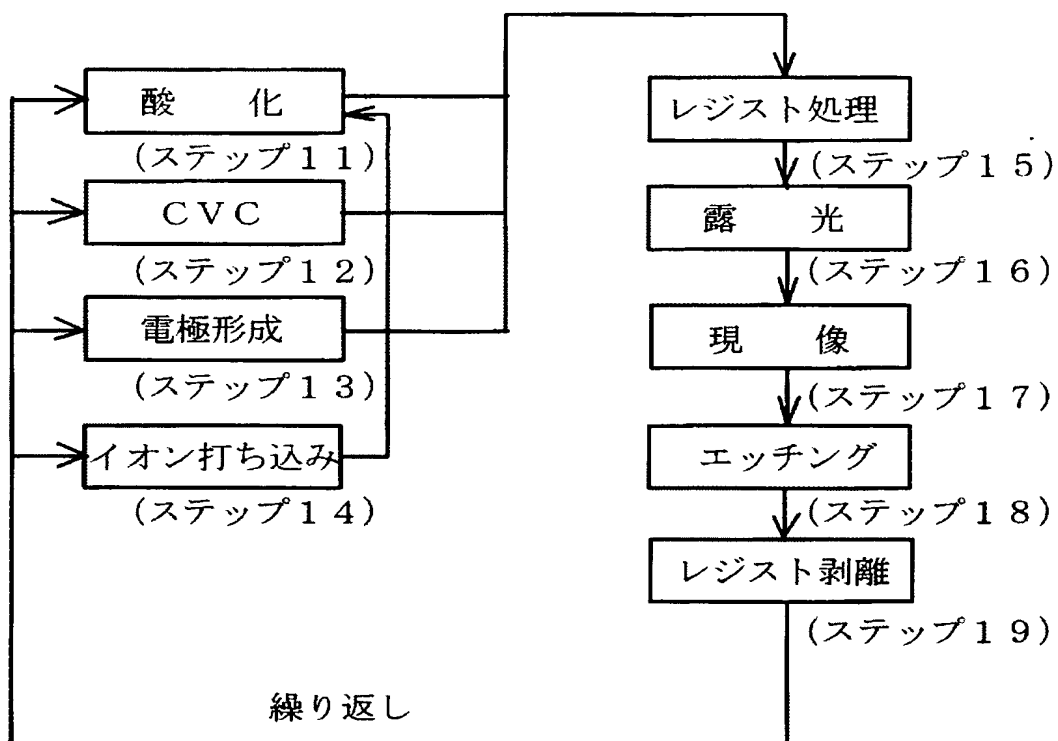
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 投影光学系の残収差による像質劣化を抑え、所望のパターンを形成することができる解像度に優れた露光方法及び装置を提供する。

【解決手段】 マスクに形成された所望のパターンを投影光学系を介して被処理体に投影する露光方法であって、前記マスクを照明する有効光源の領域が複数に分割された点光源において、前記投影光学系の波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した場合の Z e r n i k e 係数の変化に対する前記所望のパターンの像質の変化の敏感度を表す Z e r n i k e 敏感度係数を求めるステップと、前記 Z e r n i k e 敏感度係数に基づいて、前記点光源の強度によって有効光源分布を決定するステップとを有することを特徴とする露光方法を提供する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 2 7 0 7 5 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 0 0 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号

氏 名

キャノン株式会社